

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a  
komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2021

Tomáš Truska



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

## OVLÁDÁNÍ 2,5D PLOTU

CONTROLLING OF 2.5D PLOTTER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Truska

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

BRNO 2021

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

**Student:** Tomáš Truska

**ID:** 203611

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2020/21

**NÁZEV TÉMATU:**

## Ovládání 2,5D plotru

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte problematiku 2D, 2,5D a 3D plotrů. Seznamte se s open source konstrukcí 2,5D MPCNC plotru. Vyberte vhodný typ laseru malého výkonu pro gravírování do dřeva a vytvořte 3D model plotru v programu SolidWorks. Vyberte vhodný typ dostupného software pro převod grafiky do CAM. Navrhněte pracovní postup pro práci s MPCNC v režimu laserového gravírování.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 29.1.2021

**Termín odevzdání:** 3.6.2021

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

## **ABSTRAKT**

V teoretické části bakalářské práce je popsána aditivní a subtraktivní technologie výroby, rozdělení laserů a programování CNC pomocí systému využívající G-kód a M-kód. Dále je zde popsán systém PWM pro regulaci laseru.

V praktické části je popsáno reálné zapojení elektronické části plotru, popis vytváření 3D modelu plotru a softwarové ovládání.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Tištěné CNC (MPCNC), Plotr, CNC, Laser, PWM

## **ABSTRACT**

The theoretical part of the Bachelor work describes additive and subtractive technology of production, laser division and CNC programming working on a system using G-code and M-code. Furthermore, is described the PWM system for laser regulation.

The practical part describes the real connection of the electronic parts of the plotter, a description of creating a 3D model of the plotter and software control.

## **KEYWORDS**

Mostly printed CNC (MPCNC), Plotter, CNC, Laser, PWM

## **Bibliografická citace**

Truska, T. *Ovládání 2,5D plotru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, 2021. 39 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Tomáš Truska
<b>VUT ID studenta:</b>	203611
<b>Typ práce:</b>	Bakalářská práce
<b>Akademický rok:</b>	2020/21
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Ovládání 2,5D plotru

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: *2. června 2021*

.....  
Podpis autora

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Vyroubalovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>1. ROZDĚLENÍ PODLE PRINCIPU VÝROBY .....</b>	<b>11</b>
1.1 PODLE TOKU MATERIÁLU .....	11
1.2 PODLE ŘÍZENÍ .....	13
1.2.1 <i>Interpolátor – výpočet naprogramované dráhy</i> .....	16
<b>2. LASER .....</b>	<b>17</b>
2.1 REŽIMY VYSÍLÁNÍ .....	17
<b>3. ŘÍZENÍ STROJE .....</b>	<b>19</b>
3.1 PROGRAMOVÁNÍ NC .....	19
3.2 ŘÍZENÍ LASERU .....	22
<b>4. POPIS PLOTERU .....</b>	<b>23</b>
4.1 POPIS FUNKCE ZAPOJENÍ PLOTU .....	23
4.2 POSTUP INFORMACE PŘI VYPALOVÁNÍ OBRAZCE LASEREM .....	25
VYTVOŘENÍ MODELU .....	26
<b>5. VÝBĚR LASERU .....</b>	<b>28</b>
<b>6. FIRMWARE .....</b>	<b>29</b>
<b>7. OVLÁDACÍ ROZHRANÍ .....</b>	<b>30</b>
<b>8. PŘEVOD GRAFIKY NA G-KÓD .....</b>	<b>31</b>
8.1 KŘIVKA .....	33
8.2 TEXT .....	34
8.3 OBRÁZEK .....	34
8.4 VRSTVY .....	36
8.5 REGULACE JASU LASERU .....	36
<b>9. ZÁVĚR .....</b>	<b>37</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>38</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK .....</b>	<b>39</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Ukázka dílu s vnitřní strukturou vytvořeného aditivní technologií [1].....	11
Obrázek 2 Blokový diagram principu 3D tiskárny .....	12
Obrázek 3 Pravoúhlé řízení [2].....	13
Obrázek 4 Návrh 3D dílu pomocí rovin [2].....	14
Obrázek 5 Model dílu vytvořeného pomocí 2,5D [2] .....	15
Obrázek 6 Návrh tvaru pro 3D obrábění [2] .....	15
Obrázek 7 Model dílu ve fázi vyhlazování obrobku [2] .....	16
Obrázek 8 Rozdíl mezi kontinuálním a pulzním režimem [3] .....	18
Obrázek 9 Průběh u pulzního režimu [3] .....	18
Obrázek 10 Ukázka programování – absolutní (vlevo) a inkrementární (vpravo) [5] .....	19
Obrázek 11 Pulzně šířková modulace a její střední hodnota [7].....	22
Obrázek 12 Blokové schéma zapojení plotru.....	24
Obrázek 13 Postup informace při výrobě [8].....	25
Obrázek 14 Ukázka části modelu, která není jednoduše změřitelná (žlutá část) .....	26
Obrázek 15 Rozdíl mezi STL (nalevo) a SLDPRT (napravo) .....	26
Obrázek 16 Model plotru .....	27
Obrázek 17 Detail zaostřovacího mechanismu [9] .....	28
Obrázek 18 Původní kód.....	29
Obrázek 19 Upravený kód pro možnost práce s bitmapovými soubory .....	29
Obrázek 20 Tok informace .....	30
Obrázek 21 Ukázka nutného kroku při instalaci Inkscape 0.92.5 .....	31
Obrázek 22 Okno rozšíření JFU Laser Tool .....	32
Obrázek 23 Ukázka elementárních křivek pro G-kód.....	33
Obrázek 24 Nalevo text – napravo křivky s šipkami znázorňujícími pohyb stroje.....	34
Obrázek 25 Nástroj Vektorizovat bitmapu .....	35
Obrázek 26 Ukázka převodu fotky(vlevo) na křivky(vpravo) pomocí Inkscape [11] .....	35

# ÚVOD

V dnešní době se dostává 3D tisk i mezi širší veřejnost a objevují se spousty zajímavých a užitečných projektů jedním z nich je MPCNC (Mostly Printed CNC) – zařízení, které může být použito s minimálními úpravami pro mnoho typů výroby: frézování, gravírování laserem, řezání laserem, klasické řezání, 3D tisk, souřadnicové vrtání nebo kreslení perem. Mnoho částí MPCNC je vyrobeno na 3D tiskárně z důvodu ceny a dnes již celkem dobré dostupnosti 3D tisku. Samotný 3D tisk je zajímavý z hlediska že jde o aditivní technologii pomocí, které lze šetřit materiál, na druhou stranu pomocí subtraktivní technologie, jakou může používat plotr lze opracovat i materiály s kterými si aditivní výroba neporadí.

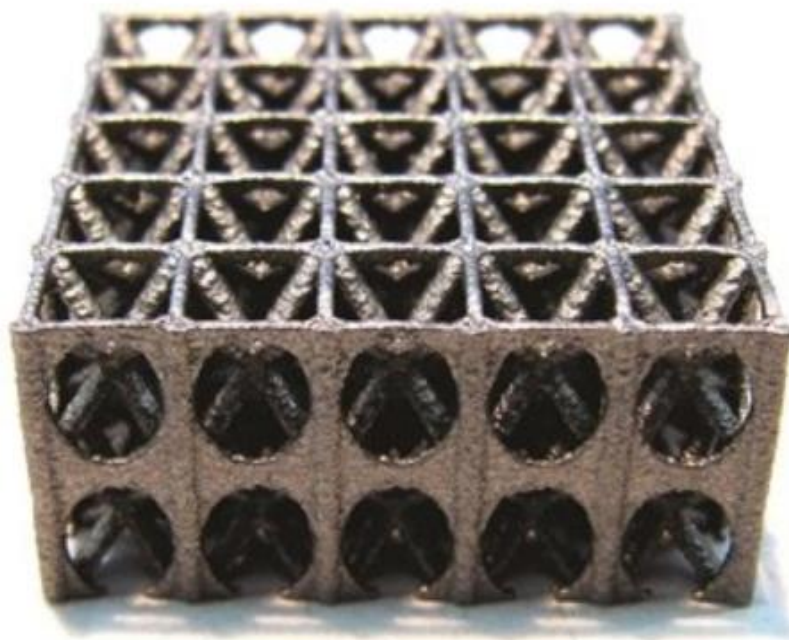
Zařízení, na které je práce zaměřena je fyzicky postaveno a elektronická část je zapojena. Práce si klade za cíl seznámení se s MPCNC jeho popsáním zahrnující vytvoření modelu v programu Solid Works. Pro zprovoznění požadovaných funkcí plotru je potřeba zjistit jaké jsou možnosti řízení, ze zjištěných informací vybrat vhodné řešení a toto řešení důkladněji prostudovat, aby mohlo být přímo použito pro ovládání konkrétního plotru.

# 1. ROZDĚLENÍ PODLE PRINCIPU VÝROBY

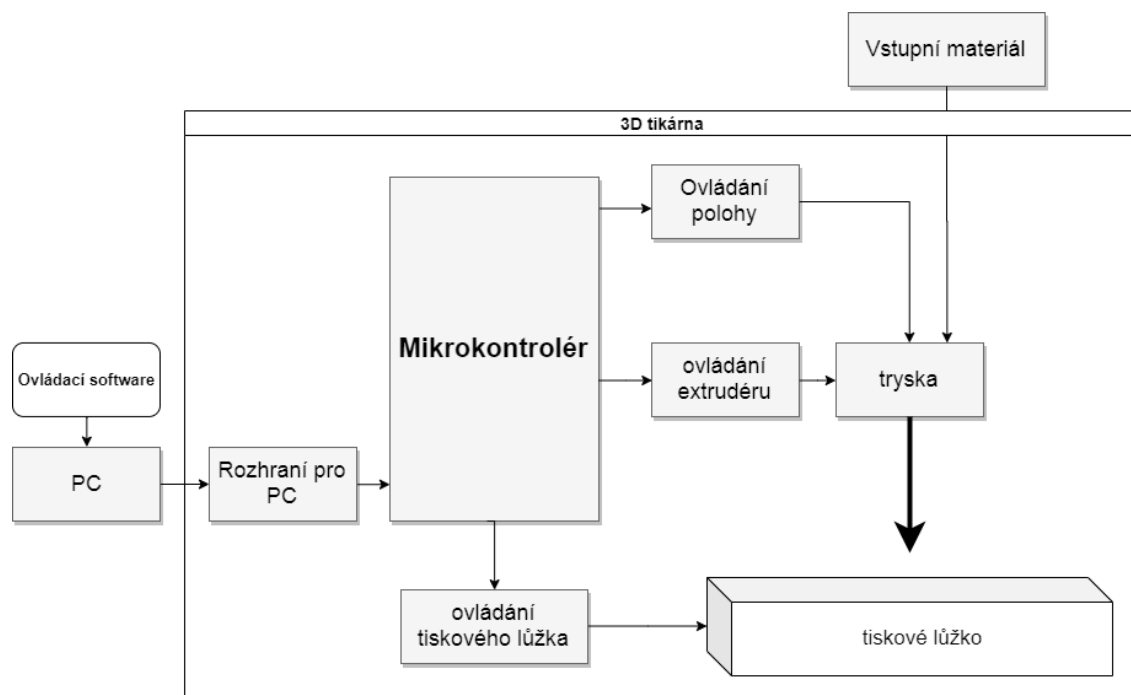
## 1.1 Podle toku materiálu

### **Aditivní Technologie (přidávání materiálu)**

Aditivní technologie výroby vyžaduje nejen konečný tvar výrobku ale i žádané parametry. Technologie je omezená počtem materiálů, jenž lze využít pro výrobu. Lze vyrábět více výrobků najednou => vyšší efektivita. Menší objem odpadního materiálu. Pomocí aditivní technologie jdou vytvářet i tvary které jsou jinými technologiemi nevyrobitelné například duté výrobky. Minimální zvýšení složitosti výroby s rostoucí složitostí výrobku. Nejrozšířenější aditivní technologie jsou tisk plastu a spékání kovových prášků. Velkou výhodou možnosti takřka jakéhokoliv tvaru je vytvoření struktury ve výrobku např.: vnitřní mřížky (pro zpevnění a odlehčení) viz následující obrázek nebo speciálně tvarovaný povrch (např. pro chlazení).



Obrázek 1 Ukázka dílu s vnitřní strukturou vytvořeného aditivní technologií [1]



Obrázek 2 Blokový diagram principu 3D tiskárny

### **Subtraktivní (odebírání materiálu)**

Funguje na principu odebírání materiálu různými způsoby například: broušení, vrtání, obrábění, řezání. Lze použít většinu běžně dostupných materiálů. Výrobek musí být navržen tak aby se všude mohl dostat nástroj, proto nelze vytvořit libovolný tvar. Konečný výrobek je vždy vytvořen z většího kusu materiálu, který je odebíráním opracován, proto může vznikat velmi velké množství odpadního materiálu. Lze opracovávat i materiály, které nelze použít u aditivní výroby. Složitost výrobku může velmi výrazně ovlivnit složitost a dobu výroby.

### **Kombinace aditivní a subtraktivní technologie**

V řadě případů dokonce, i když je rozhodnuto vyrobit součást s využitím aditivní výroby, může být stále efektivnější nebo nezbytné provést dokončování konvenčními metodami obrábění kovů. Aby bylo možné dosáhnout potřebných tolerancí a splnit požadavky na kvalitu obrobené plochy, měly by spíše například preferovat konvenční metody obrábění kovů než se pokoušet o 3D tisk s velmi úzkými tolerancemi. AM technologie jsou součástí výrobního toku a jsou-li vyžadovány přísné tolerance, je nezbytné použití obrábění a následných procesů. V takových případech může být naopak výhodné vytisknout součást s o trochu většími rozměry, aby umožňovala použití výhodnějších rezných podmínek při provádění subtraktivních (obráběcích) operací potřebných pro dosažení konečného tvaru požadovaného pro příslušnou aplikaci.[1]

## 1.2 Podle řízení

Řízení se rozděluje na několik typů zejména podle vstupních dat a jejich následovného zpracování. Základním rozdělením podle možného dosažení geometrických tvarů výrobku s potřebnou precizností:

- Stavění souřadnic (polohování)
- Pravoúhlé řízení
- Souvislé řízení

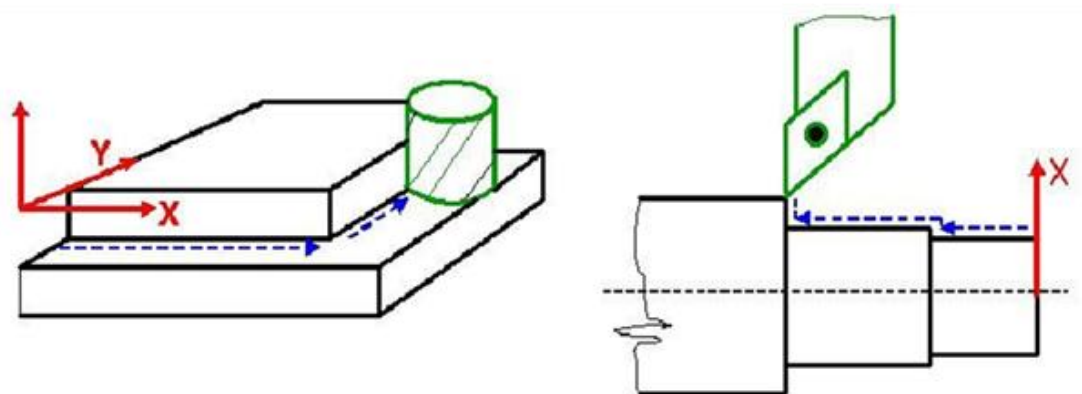
Dále je nutné zohlednit mnoho dalších faktorů jako např.: drsnost povrchu, stejnoměrnost povrchu, možný výrobitelný tvar.

### Stavění souřadnic

Nejstarší druh řízení bez jakékoliv mikroprocesorové interpolace. Nástroj se rychloposuvem dostane na požadovanou pozici, aniž by na této dráze záviselo (vrtací stroje).

### Pravoúhlé řízení

Je složitější než stavění souřadnic. Tato technologie již může mít korekci na základě velikosti nástrojů. Pravoúhlé řízení umožňuje obrábět rovnoběžně s osami souřadnic. Tímto způsobem řízení lze vytvářet pravoúhlé obrobky a soustružit válcové plochy viz obrázek 2.



Obrázek 3 Pravoúhlé řízení [2]

## Souvislé řízení

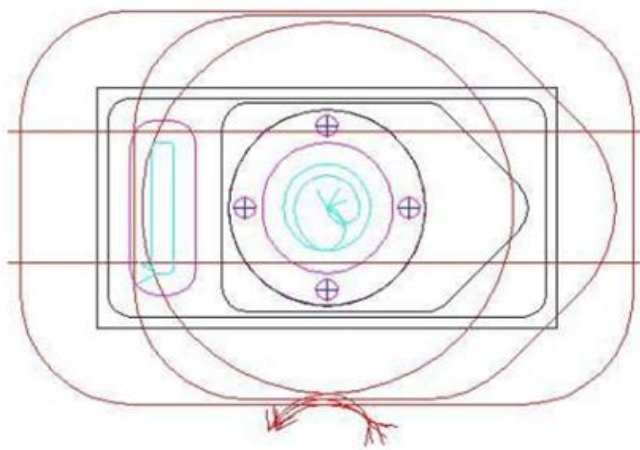
Rozděluje se podle počtu os se, kterými stroj pracuje, základní jsou: 2D, 2,5D, 3D, 4D, 5D

### Souvislé řízení v 2D

Používá se lineární interpolace ale vždy jen v jedné rovině.

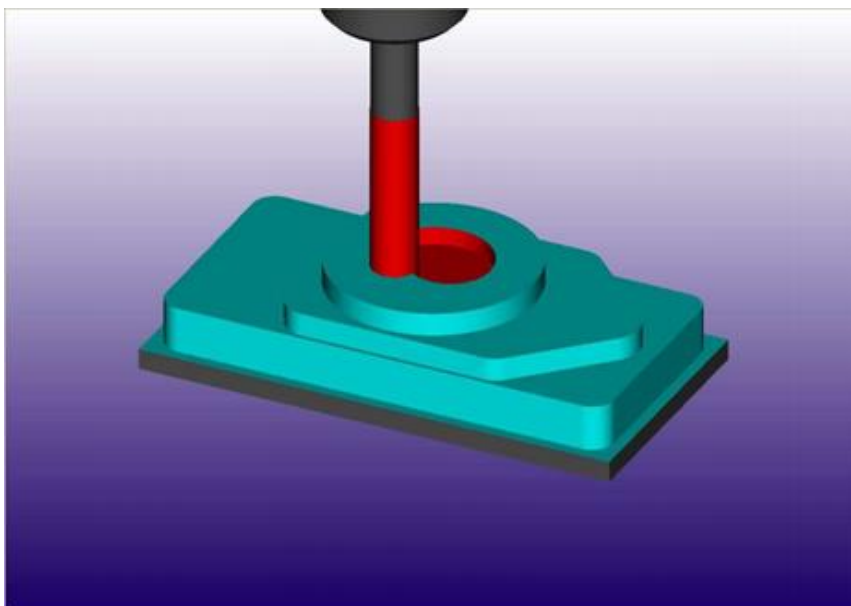
### Souvislé řízení v 2,5D

Pomocí 2,5D řízení lze již vytvářet v 3 osách ale jen omezeně. Aktivní jsou vždy jen 2 osy zároveň (práce v rovině) a pomocí 3 osy lze měnit tuto pracovní rovinu. Pokud při souvislém řízení ve dvou osách (2D) lze volně měnit řízené roviny tak vzniká 2,5D řízení.



Obrázek 4 Návrh 3D dílu pomocí rovin [2]

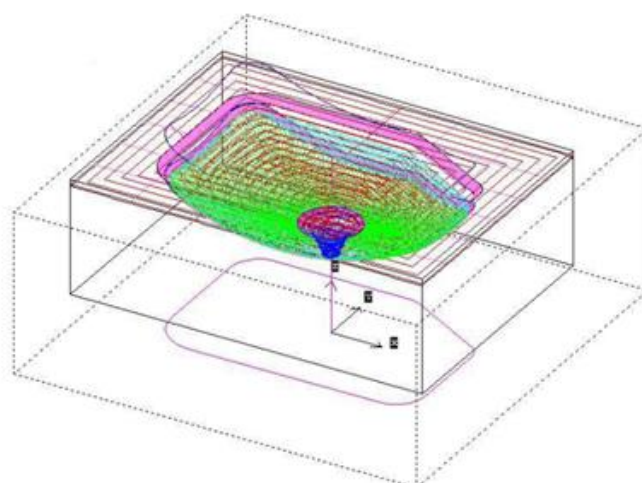
Na obrázku 4 jsou vidět kapsy, které jsou 2D ale v několika různých rovinách vůči třetí ose. Tento návrh umožňuje vytvoření 3D objektu pomocí 2D ploch. V následujícím obrázku 5 je již vidět vytvořený díl.



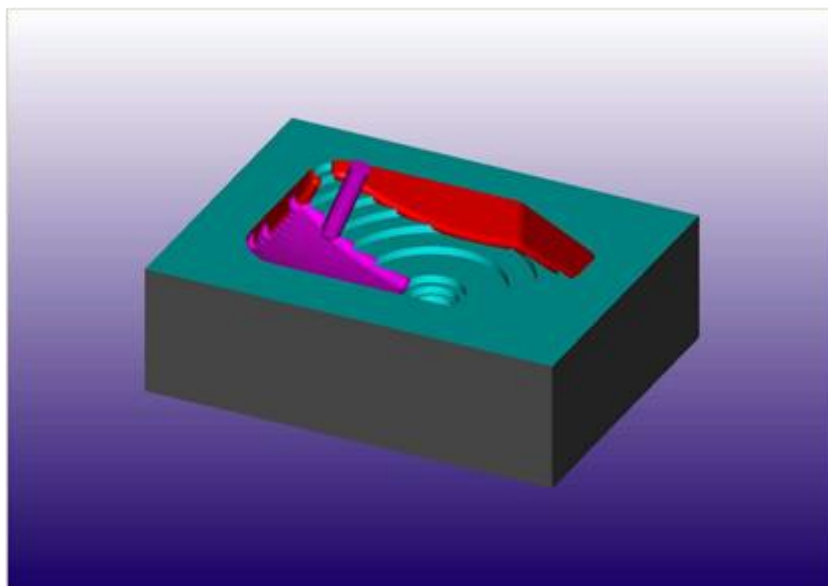
Obrázek 5 Model dílu vytvořeného pomocí 2,5D [2]

### **Souvislé řízení v 3D**

3D řízení již umožňuje vytváření libovolných obrysů a prostorových ploch. Nástroje jsou plynule řízeny ve všech 3 osách. Je zde nutný interpolátor, který musí vypočítávat pohyby ve dvou osách podle třetí osy. Jelikož zde musí interpolátor řešit mnoho početních operací je nutný i přiměřeně velký výpočetní výkon ovládacího mikroprocesoru.



Obrázek 6 Návrh tvaru pro 3D obrábění [2]



Obrázek 7 Model dílu ve fázi vyhlazování obrobku [2]

### 1.2.1 Interpolátor – výpočet naprogramované dráhy

Generace požadované obecné dráhy relativního pohybu nástroje proti obrobku je uskutečněna pomocí obvodů interpolátoru. Interpolátor (jednouúčelový počítač) vyrábí počet elektrických impulsů odpovídající naprogramovaným drahám v jednotlivých osách. Každý impuls představuje elementární dráhu např. 0,01mm, takže počet impulsů charakterizuje v daný okamžik ujetou dráhu. Frekvence těchto impulsů představuje rychlost pohybu v každé řízené ose. Poměr frekvencí ve dvou současně řízených osách udává směrnici přímky, po které probíhá v daný okamžik relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem.

Pro uvedené druhy řízení rozlišujeme interpolátory: [2]

- lineární
- kvadratický a vyšších řádů



## 2. LASER

Slovo laser [lejzr] pochází z angličtiny. Je to zkratka z počátečních písmen anglického názvu „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“. V češtině bychom to mohli přeložit jako „zesilování světla stimulovanou (vynucenou) emisí záření“.[3] Laser pro svou funkci potřebuje několik základních částí a těmi jsou:

**Aktivní prostředí** může být ve formě tuhé látky, kapaliny nebo plynu. V aktivním prostředí může vznikat inverzní populace energetických stavů díky čemuž dojde k stimulované emisi.

**Optický rezonátor**, je dutina obklopená odrazovými plochami, nejjednodušší varianta je použití dvou zrcadel první zcela odrazivá a druhé polopropustná.

**Zdroj energie** se různí, podle typu laseru u plynových laserů se používá el. Výboj. Pevnolátkový laser využívá zdroj světla a u polovodičových je využit elektrický proud.

**Chladič** je část laseru, která je nutná při vyšších výkonech, ale existují i lasery s pasivním chlazením využívající jen plochu samotného těla laseru.

### 2.1 Režimy vysílání

Laser může vysílat paprsek v několika režimech **kontinuální**, **Kvazi-kontinuální** nebo **pulzní**, každý z má svoje specifické vlastnosti.

Režim **kontinuální** je, když vnější působení dodává vnitřním stavům kvantových soustav energii (buzení), je nezávislé na čase a všechny geometrické parametry laserového systému jsou nezávislé na čase. [3] Pro neměnnost laserového paprsku je nutné stabilizovat veškeré konstrukční prvky. Příklad známých kontinuálních laserů je He-Ne, GaAlAs nebo iontový Ar laser.(obr. 7 a)

**Kvazi-kontinuální** jsou lasery s pulsním trváním  $\tau_L$  (viz obrázek 7) v rozsahu od femtosekund ( $1E-15$ ) do pikosekund ( $1E-12$ ) s opakovací frekvencí v rozmezí 10 až 100 MHz pro vysoce výkonové lasery.[3] Při takto vysokých rychlostech opakování nedochází k teplotní relaxaci. Kvazi-kontinuální lasery mívají velký špičkový výkon ale nižší průměrný výkon. (obr. 7 b)

Při **Pulzním** režimu je světlo emitováno ve formě velmi krátkých optických pulzů. Doba periody jednoho pulzu se může pohybovat v rozmezí desítek nanosekund až a desítky pikosekund.

U pulsních laserů je třeba zmínit jednu skutečnost a to, že zatímco u kontinuálních laserů je základním parametrem záření vyzařovaný výkon (energie za čas) měřený ve watttech, je puls charakterizován energií v joulech. Můžeme však hovořit o hodnotě okamžitého výkonu, nebo špičkového výkonu na vrcholu „špiček“ časového průběhu pulzů. A tedy, zatímco u kontinuálních laserů je výkon zlomky wattů, soustředěním energie do krátkého nanosekundového pulsu s energií kolem milijoulu je špičková hodnota výkonu řádově v megawatttech [3]. (obr. 8)

### Rozdíly mezi režimy vysílání

Tyto tři režimy se liší v tom, jak emise laserové energie probíhá v okamžiku, jakmile se laser aktivuje. Příkladem kontinuálního režimu je třeba klasická žárovka. Žárovka emituje světlo po celou dobu, po kterou je žárovka v zapnutém stavu a přestane vyzařovat světlo, jakmile je ve stavu vypnutém. Zařízení pracující v režimu pulsním vysílají rovněž záření po celou dobu, po kterou je zařízení v zapnutém stavu, jedná se ale už o sled pravidelně se opakujících impulsů. Jako pulsní režim si můžeme představit srdeční puls. Příklad režimu impulsního si můžeme uvést například blesk fotoaparátu, který je zdrojem jednoho pulsu a nevyzařuje stálé světlo o stálé intenzitě.[3]

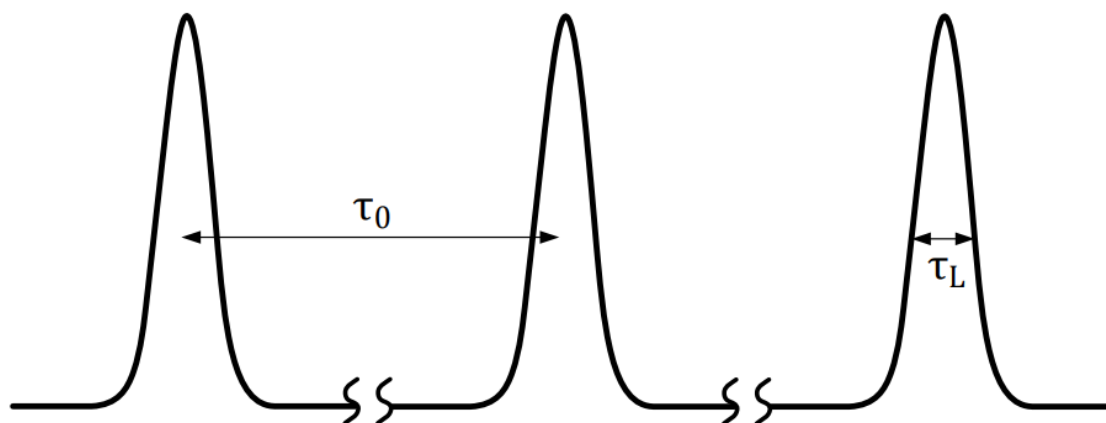


(a) Kontinuální režim



(b) Pulsní režim

Obrázek 8 Rozdíl mezi kontinuálním a pulzním režimem [3]



Obrázek 9 Průběh u pulzního režimu [3]

## 3. ŘÍZENÍ STROJE

### 3.1 Programování NC

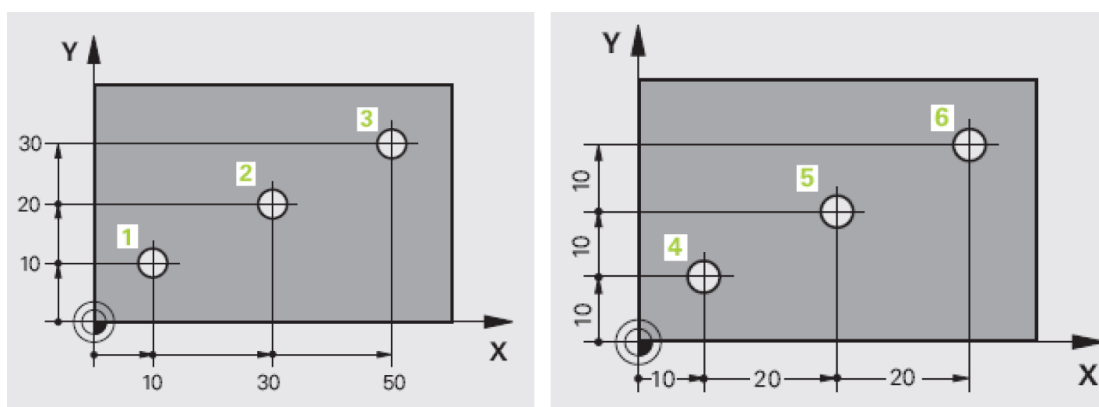
Norma ČSN ISO 6983 rozlišuje funkce v řadě G00 – G99 a M00 – M99, které jsou závazné. Ovšem některá místa v řadách jsou neobsazena a výrobci těchto míst využívají ke svým programovacím funkcím. Proto se běžně stává, že stejná funkce má více významů (systém od systému). [4] ISO PROGRAMOVÁNÍ označuje závazné a totožné funkce u všech řídicích systému nezávisle na výrobci.

#### CAM

(Computer Aided Machining – Počítačem podporované obrábění) je obecně software který slouží k programování CNC (Computer Numeric Control – číslicové řízení počítačem) strojů. Tedy strojů frézovacích, soustružnických, kombinovaných, speciálních, drátořezů či jiných typů programem řízených strojů. [4]

#### G-kód

NC programování se dělí na 2 základní typy 1) Absolutní programování – G90 všechny souřadnice se vztahují k nulovému bodu (kótování od základny viz obrázek 9). 2) Inkrementální (přírůstkové) programování – G91 Souřadnice se řetězí a hodnoty vychází vždy od minulého bodu (řetězcové kótování viz obrázek 9). CN příkazy se skládají ze dvou částí, funkce a hodnota. Funkci označuje písmeno s těsně připojeným číslem a oddělené číslo značí hodnotu. Vždy je zpracováván celý řádek (programový blok) najednou, proto může být pořadí příkazů libovolné (zpracovávány jsou najednou). Pokud na jednom řádku je více stejných příkazů vykoná se poslední. Řádky/programové bloky jsou odděleny středníkem.



Obrázek 10 Ukázka programování – absolutní (vlevo) a inkrementální (vpravo) [5]

### **Ukázka několika příkazů G kódu**

<i>G0</i>	<i>nájezd do polohy (rychlý posuv)</i>
<i>G1</i>	<i>lineární interpolace (řezný posuv)</i>
<i>G2</i>	<i>kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček</i>
<i>G3</i>	<i>kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček</i>
<i>G4</i>	<i>časová prodleva</i>
<i>G5</i>	<i>obrábění v cyklu vysokou rychlostí</i>
<i>G7</i>	<i>hypotetická interpolace v ose</i>
<i>G7.1</i>	<i>(G107) interpolace na válci</i>
<i>G10</i>	<i>programovatelný zápis parametrů</i>
<i>G10.6</i>	<i>odsunutí a přisunutí nástroje</i>
<i>G11</i>	<i>zrušení programovatelného zápisu parametrů</i>
<i>G12.1</i>	<i>(G112) režim interpolace v polárních souřadnicích</i>
<i>G13.1</i>	<i>(G113) zrušit režim interpolace v polárních souřadnicích</i>
<i>G17</i>	<i>volba roviny Xp Yp</i>
<i>G18</i>	<i>volba roviny Zp Xp</i>
<i>G19</i>	<i>volba roviny Yp Zp</i>
<i>G20</i>	<i>vstup v palcích</i>
<i>G21</i>	<i>vstup v milimetrech [6]</i>

### **Ukázka konkrétního příkazu G-kódu**

G1 lineární interpolace (řezný posuv)

Formát:

G1 X(U)\_\_\_ Z(W)\_\_\_ F\_\_\_;

X, Z – koncový bod řezu (absolutní režim)

U, W – koncový bod řezu (inkrementální režim)

F – posuv, při G99 – posuv v milimetrech na otáčku

G98 – posuv v milimetrech za minutu [6]

## **M-kód**

Při programování je potřeba určit i jiné činnosti stroje, než jen pohyb a čas proto existuje další kód. Název kódu vychází z anglického názvu pro stroj – Machine proto M. M-kód slouží pro obstarávání různých periférií stroje. Kód ovládá například čerpadla pro chlazení, ventily pro vzduch nebo upínací mechanismy.

### **Ukázka několika příkazů M kódu**

<i>M0</i>	<i>stop programu</i>
<i>M1</i>	<i>volitelný stop programu</i>
<i>M2</i>	<i>konec programu</i>
<i>M3</i>	<i>pravé otáčky vřetena</i>
<i>M4</i>	<i>levé otáčky vřetena</i>
<i>M5</i>	<i>stop vřetena</i>
<i>M8</i>	<i>spuštění chlazení</i>
<i>M9</i>	<i>zastavení chlazení</i>
<i>M10</i>	<i>otevření čelistí sklíčidla, kleštiny</i>
<i>M73</i>	<i>pravé otáčky poháněných nástrojů</i>
<i>M74</i>	<i>levé otáčky poháněných nástrojů</i>
<i>M75</i>	<i>zastavení otáček poháněných nástrojů</i>
<i>M98</i>	<i>volání podprogramu</i>
<i>M99</i>	<i>konec podprogramu, programový skok [6]</i>

## 3.2 Řízení laseru

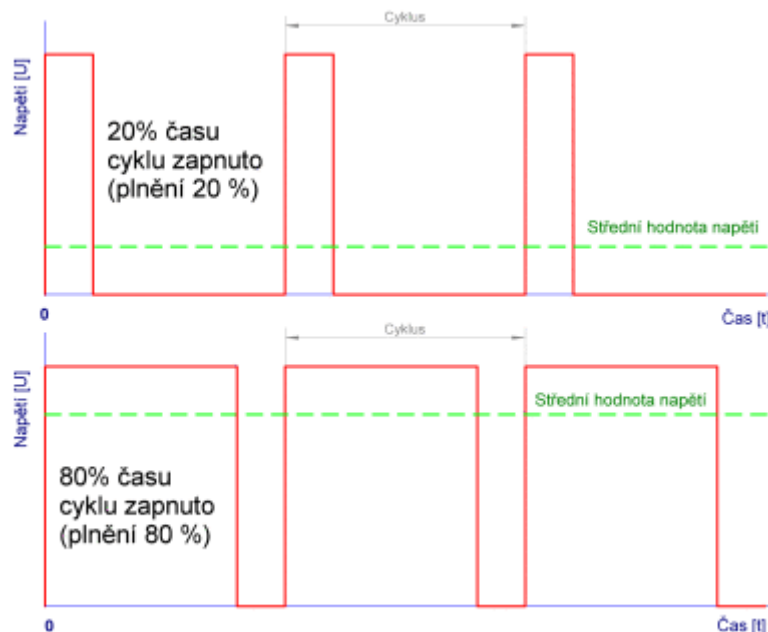
Při běžném řezání nebo vypalování laserem je pohyb pouze v osách X, Y. Pokud se mění tloušťka materiálů, do kterých se pálí laserem, je potřeba nastavit i zaostření ohniska laseru, buď změnou polohy v ose Z nebo zaostřením pomocí optiky, pokud to zařízení umožňuje. Výkon laseru je třeba také regulovat, buď nastavit určitý výkon pro řezání, nebo plynulá regulace při vypalování motivů. Pro regulaci lze použít PWM.

### Regulace výkonu pomocí PWM

PWM (pulse width modulation – pulzně šířková modulace)

Pulzně šířková modulace se hojně využívá k regulaci výkonu dodávaného do elektrických zařízení hlavně z důvodu minimálních ztrát. Základním principem PWM je změny šířky pulzu v závislosti na chtěném výkonu. Tím jak se mění šířka pulzu se mění poměr  $\log.1$  a  $\log.0$  a z toho vychází změna střední hodnoty stejnosměrného proudu viz následující obrázek.

Pro poměr doby zapnutí napětí k době cyklu se používá název činitel plnění. Rozsah činitele plnění se může měnit od 0%, kdy je napětí trvale vypnuto (motor stojí, světlo-laser nesvítí), až po 100%, kdy je napětí trvale zapnuto (motor se otáčí plnou rychlostí, světlo-laser svítí plným jasnem).[7]

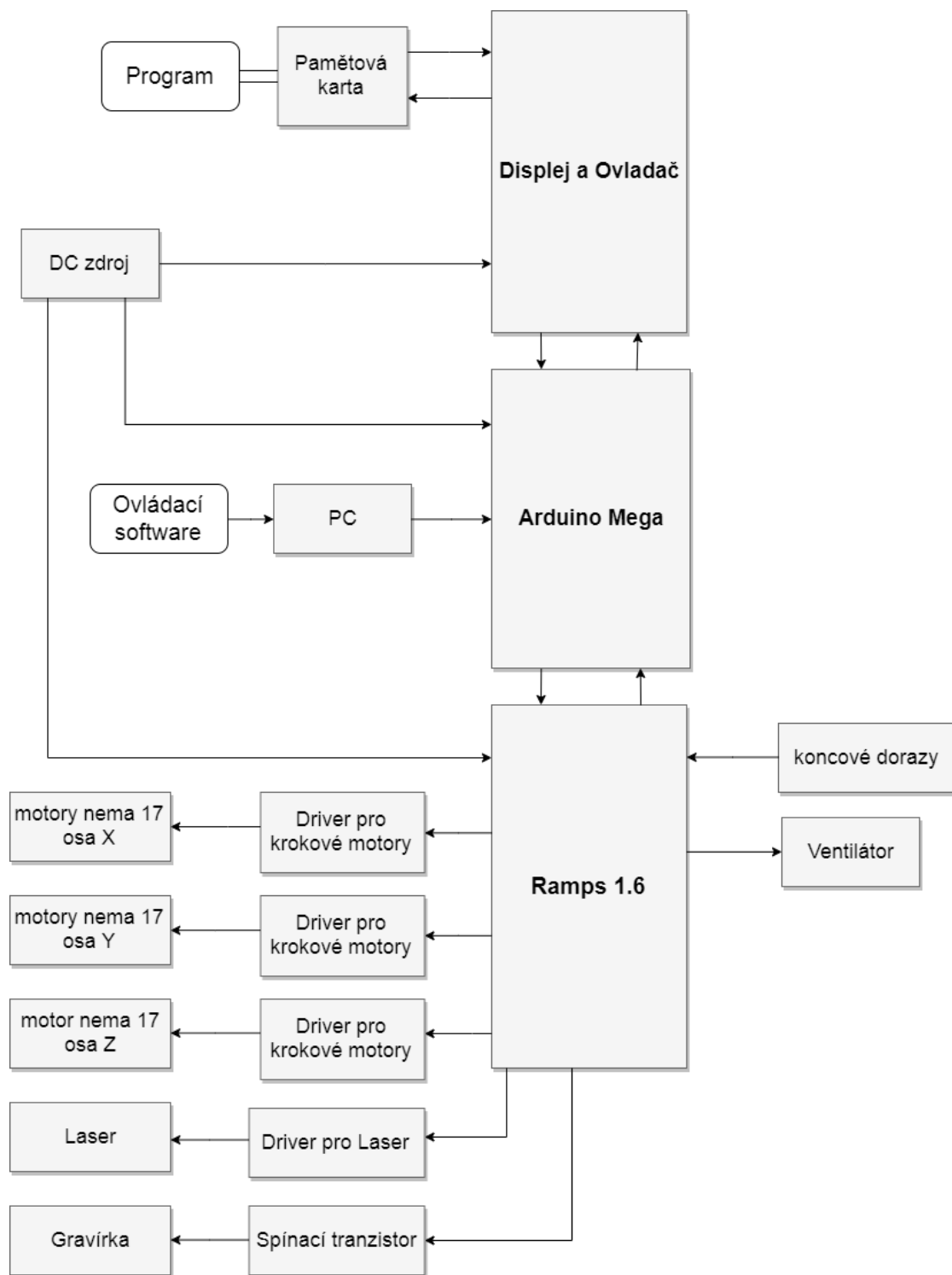


Obrázek 11 Pulzně šířková modulace a její střední hodnota [7]

## 4. POPIS PLOTERU

### 4.1 Popis funkce zapojení plotru

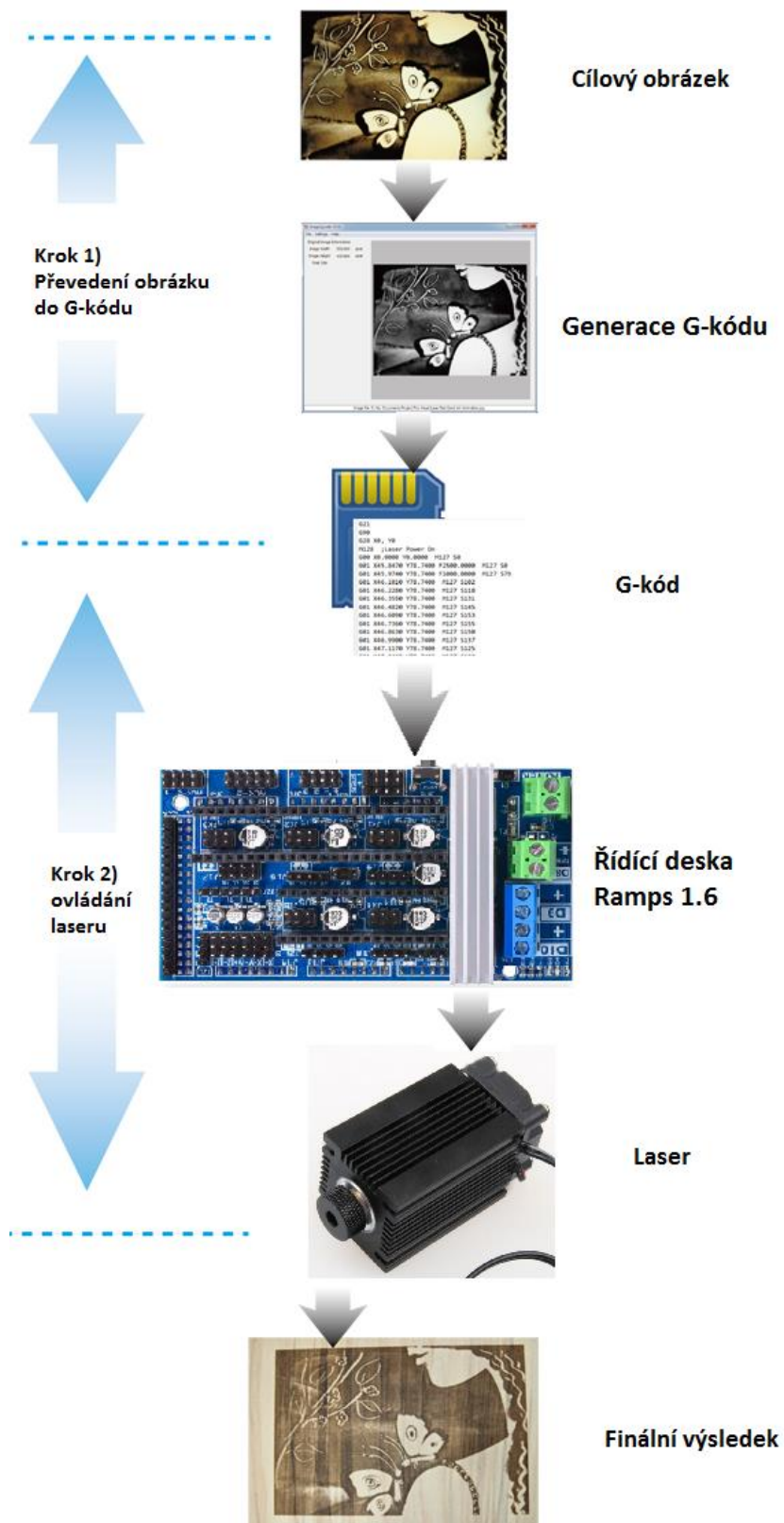
Plotr je řízen pomocí mikrokontrolérové vývojové desky **Arduino mega** založené na mikroprocesoru ATmega2560. Plotr může také být řízen pomocí **12864 LCD Displej a Ovladač pro 3D Tiskárny RAMPS 1.4** po vložení paměťové karty s potřebnými daty pro výrobu. Pro veškeré silové části je použit rozšiřující modul **Ramps 1.6**, do kterého jsou připojeny další rozšiřující moduly. Pro pohyb jsou použity motory **Nema 17** zapojené do **přesný driver pro krokové motory TMC2100 s mikrokrokováním až 1/256**. **Motor Nema 17** je krokový dvoufázový motor s úhlem kroku  $1,8^\circ$  a přídržnou silou: 0,48Nm. Gravírka je plánována zapojit do **PWM MOSFET modul HA210N06 25A** zejména pro galvanické oddělení od zbytku zařízení a dostatečnou výkonovou rezervu. Pro detekci mezní polohy (dorazu) proti možnému poškození je použit **RobotDyn koncový doraz / spínač**. Ovládací software je použit **Inkscape**. Laser je zapojen přes řídící desku, ale zatím není zprovozněna jeho regulace výkonu.



Obrázek 12 Blokové schéma zapojení plotru



## 4.2 Postup informace při vypalování obrazce laserem

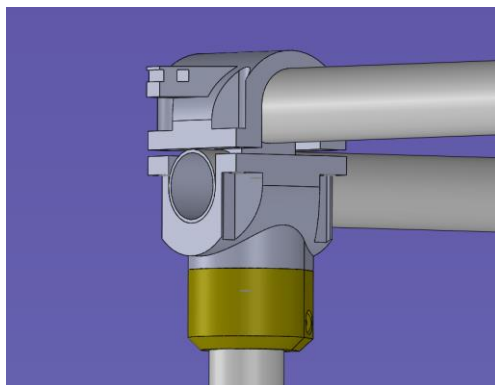


Obrázek 13 Postup informace při výrobě [8]

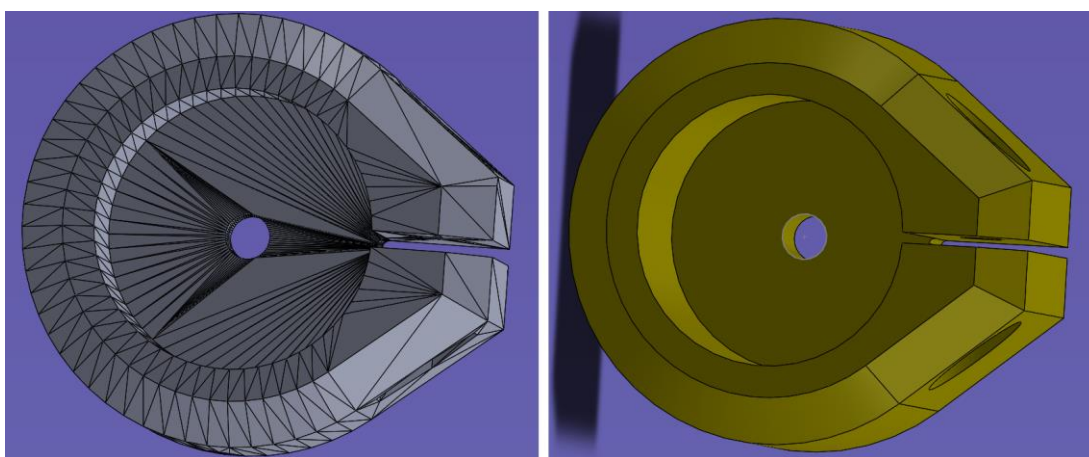
## Vytvoření modelu

Model ve formátu SLDPRT se nepodařilo najít, proto bylo, hledání rozšířené i na ostatní typy modelů. Na internetu je běžně dostupný model formátu STL určený přímo pro 3D tisk. STL sice lze převést v SolidWorks na formát SLDPRT ale struktura modelu se nezmění. Převedený model lze již použít na změření některých rozměrů (ne však všech např. nelze změřit vzdálenost středů kružnic). Model převeden z STL není složen ze základních geometrických tvarů ale z mnoha polygonů (viz obrázek 15). Polygony působí mírné nepřesnosti, s kterými si SolidWorks při skládání modelu neporadí, proto byl vytvořen nově celý model ve formátu SLDPRT.

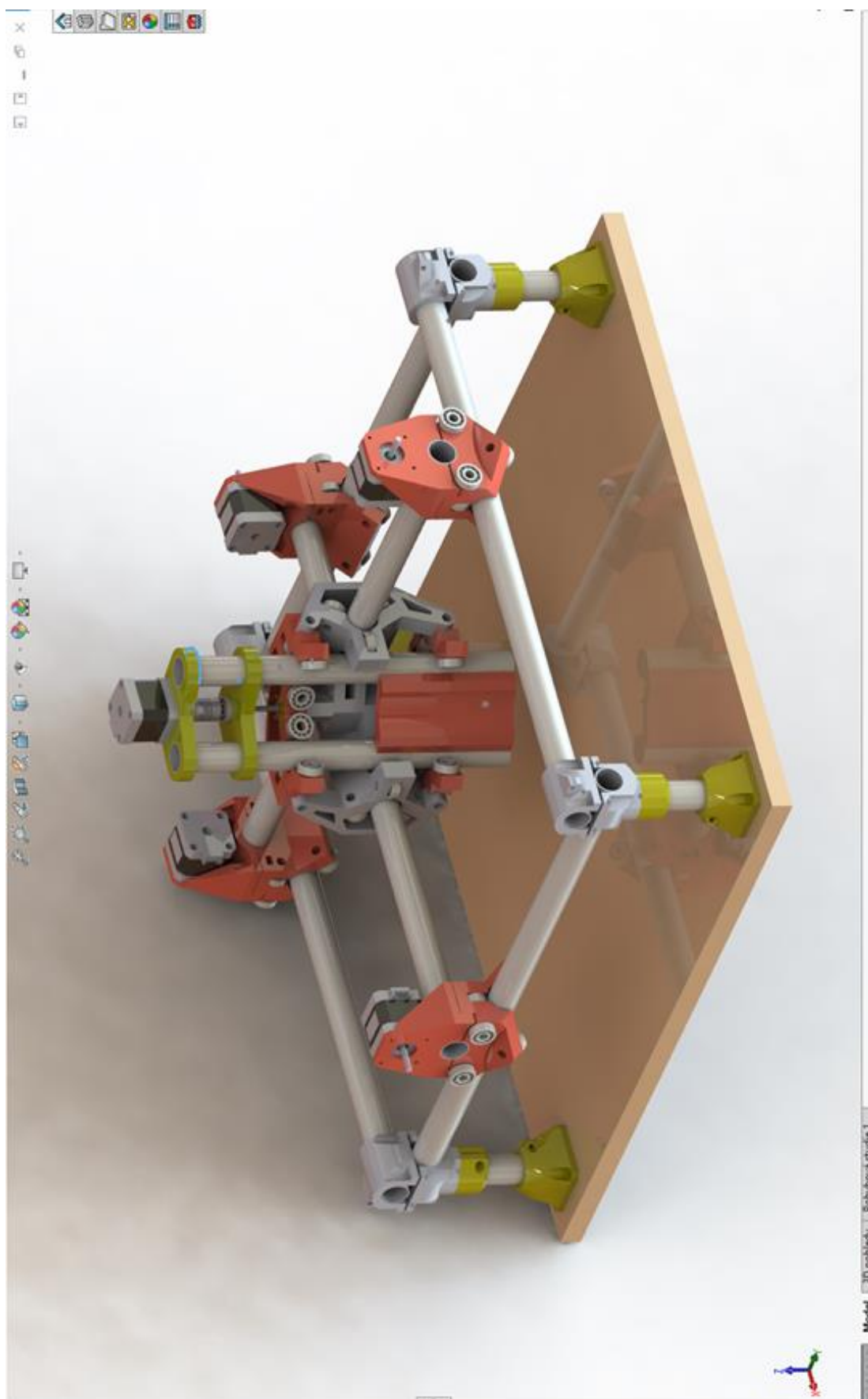
Pro modelování byl použit program SolidWorks. Většina rozměrů modelu byla naměřena z již fyzicky hotového zařízení, v některých případech ale nebylo možné jednoduše rozměry naměřit nebo by bylo nutné plotr rozebrat, proto bylo využito funkce programu SolidWorks, která umí změřit rozměry modelu a k tomu byly použity některé STL modely částí plotru.



Obrázek 14 Ukázka části modelu, která není jednoduše změřitelná (žlutá část)



Obrázek 15 Rozdíl mezi STL (nalevo) a SLDPRT (napravo)



Obrázek 16 Model plotru

## 5. VÝBĚR LASERU

Důležité vlastnosti při výběru byly zejména:

Dostatečný výkon pro gravírování do dřeva, zaostření na vhodnou vzdálenost, napájecí napětí shodné s již používaným napájecím napětím pro ostatní elektroniku (12v), velikost umožňující připevnění laseru na plotr.

Možnost regulace výkonu pomocí PWM.

Při hledání informací o běžně dostupných laserech na gravírování dřeva převládalo užití polovodičového laseru, zejména pro jeho dostupnost, cenu a velikost. Byly nalezeny ukázky z praxe funkčnosti gravírování, a dokonce řezání tenkého měkkého dřeva již při 2,5W (opakovaný průchod laseru). Po porovnání běžně dostupných laserů vychází jako vhodný typ 450nm DM-3500 dostupný z: <https://www.ebay.com/itm/141006232042?hash=item20d4a059ea:g:sHMAAOSwqclgfZXL&autorefresh=true>

Pro správné fungování laseru je nutné správné zaostření to lze provést vložením G-kódu s příkazem pro nastavení osy Z, zapnutí laseru – stačí minimální výkon (M106 S14 zhruba 5 % výkonu) a poté manuálně zaostřit pomocí zaostřovacího mechanismu pootočením viz. následující obrázek.



Obrázek 17 Detail zaostřovacího mechanismu [9]

Laserový paprsek je nebezpečný i při odrazu proto je při práci s laserem potřeba vždy dbát zvýšené opatrnosti a používat ochranné brýle.

## 6. FIRMWARE

Plotr pro své fungování potřebuje program (firmware) jenž převádí G-kód na potřebné pohyby. Pro řídicí jednotku ArduinoMega byl vybrán Marlin Firmware V2 jelikož je hojně využívaný a proto k němu existuje mnoho informací, které jsou běžně dostupné na internetu. Firmware lze do řídicí jednotky nahrát například pomocí programu Arduino IDE.

Příkazy G-kódu pro zapnutí, vypnutí a regulaci intenzity laseru je nutno při zadat do programu generujícího kód (je uvedeno v části 6. převod grafiky na g-kód).

Tyto příkazy jsou:

**Zapnutí laseru M106**

**Vypnutí laseru M107**

Regulace intenzity je s rozlišením 8 bitů (0-255)

**M 106 S0** – 0%

**M 106 S127** – 50%

**M 106 S255** – 100%

Pro umožnění vytváření obrázků z bitmapového souboru je nutné změnit malou část kódu v souboru MarlinCore.cpp (ve starší verzi Marlin Firmware V2 se tato část kódu nacházela v souboru Marlin.cpp).

```
679 // Limit check_axes_activity frequency to 10Hz
680 static millis_t next_check_axes_ms = 0;
681 if (ELAPSED(ms, next_check_axes_ms)) {
682     planner.check_axes_activity();
683     next_check_axes_ms = ms + 100UL;
684 }
```

Obrázek 18 Původní kód

```
679 // Limit check_axes_activity frequency to 10Hz
680 /*static millis_t next_check_axes_ms = 0;
681 if (ELAPSED(ms, next_check_axes_ms)) {
682     planner.check_axes_activity();
683     next_check_axes_ms = ms + 100UL;
684 }*/
```

Obrázek 19 Upravený kód pro možnost práce s bitmapovými soubory

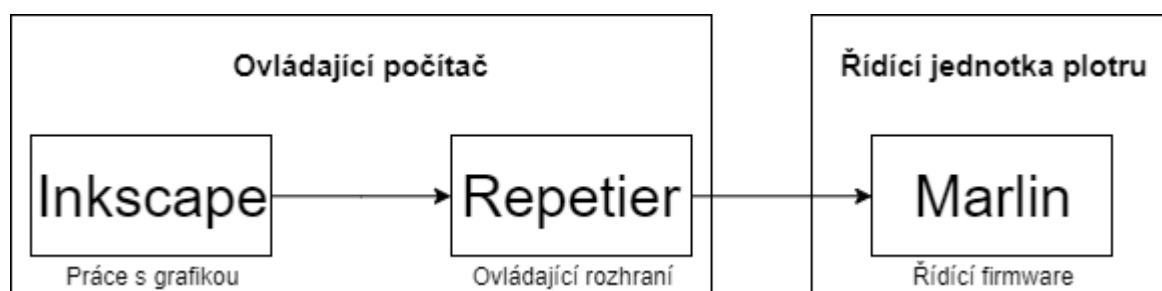
## 7.OVLÁDACÍ ROZHRANÍ

Pro řízení plotru byl vybrán program Repetier, jenž splňuje všechny požadavky umožňuje pálení laserem, gravírování, v případě potřeby v budoucnu i 3D tisk, je nenáročný na ovládání, a navíc je zdarma ke stažení.

Pro propojení PC (Repetier) s plotrem je potřeba nastavit typ komunikace v aktuálním případě USB a port u něhož záleží do jakého USB portu je plotr aktuálně zapojen. Je vhodné nastavit rozměry pracovní plochy podle reálné velikosti, toto nastavení je v sekci Nastavení tiskárny\Tisková plocha.

Řídit plotr lze manuálně nebo pomocí importování již připraveného G-kódu. Po importu již není potřeba program dále nastavovat a je možné zahájit laserové gravírování.

Zobrazení průchodu informace přes použitý software.



Obrázek 20 Tok informace



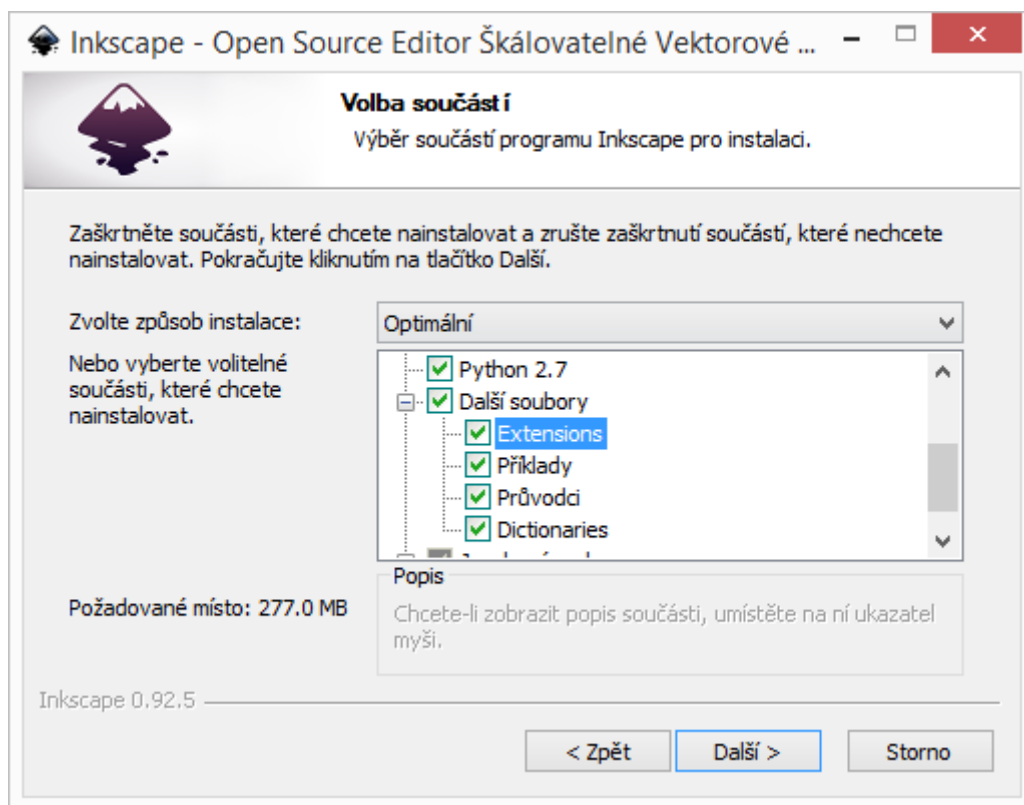
## 8. PŘEVOD GRAFIKY NA G-KÓD

Pro vytváření g-kódu byl vybrán program Inkscape.

Inkscape je svobodný otevřený program pracující s vektorovou grafikou, využívá implicitně formát SVG, avšak do něj lze importovat mnoho dalších formátů například: PNG, GIF, BMP, JPG, PDF.

I přes to, že nejnovější verze programu Inkscape je 1.0, je použita verze programu **0.92.5** kvůli kompatibilitě s rozšířeními programu Inkscape. Samotný Inkscape nestačí pro správnou generaci požadovaného G-kódu. Proto je nutné přidat rozšíření, které to umožní. Původně bylo v plánu použít rozšíření J Tech Photonics Laser Tool ale poté byla volba změněna na **JFU Laser Tool**, což je klon původního pluginu, který navíc umožňuje vytvořit G-kód pro různé intenzity laseru.

Při instalaci je nutné mít zaškrtnuté políčko “**Extensions**” pro možnost budoucího vložení pluginů viz následující obrázek, bez této volby nelze do programu Inkscape přidat rozšíření. Ostatní kroky instalace jsou zcela běžné.



Obrázek 21 Ukázka nutného kroku při instalaci Inkscape 0.92.5

Poté co je nainstalován program Inkscape, je třeba do něj přidat vybrané rozšíření, to se provede následujícími kroky:

**1) Stažení JFU\_Laser\_Tool\_V1\_9**

**2) Otevření archivu JFU\_Laser\_Tool\_V1\_9.zip**

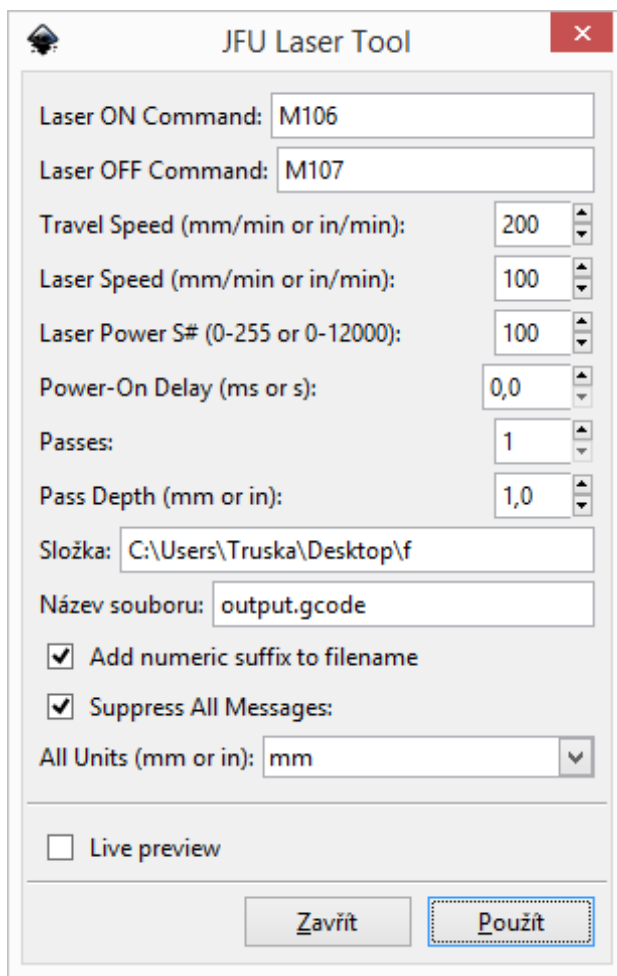
Ve složce se nalézají 3 soubory: **laser.inx**, **laser.py**, **laser.inx.debug** (soubor **laser.inx.debug** není podstatný, slouží jen pro případ, kdy si potřebujeme zapnout logování a zkoumat kód generátoru, pak jej přejmenujeme na laser.inx)[10]

**3) Přesunutí souborů do složky extensions** (pokud je program instalován ve Windows bez změny cesty, je tato složka umístěna v: C:\Program Files\Inkscape\share\inkscape\extensions)

**4) Nyní je rozšíření přidáno do programu Inkscape, ale může se stát, že při exportu program může ukázat chybu zápisu to lze vyřešit spuštěním Inkscape v režimu administrátor.**

Generace G-kódu pomocí JFU Laser Tool

**Horní lišta\Rozšíření\Generate Laser Gcode\JFU Laser Tool...**



Obrázek 22 Okno rozšíření JFU Laser Tool

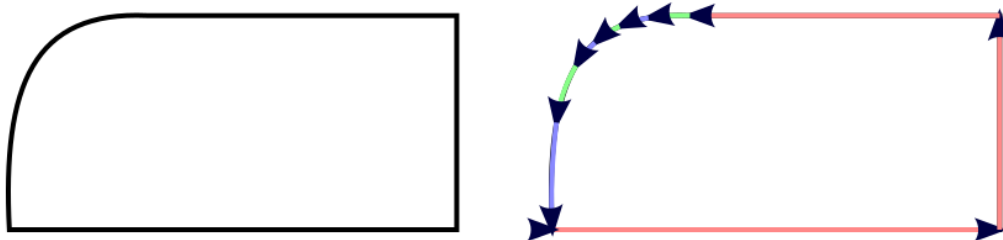


- **Laser ON Command:** Příkaz, kterým se spustí laser. Například M03, nebo M04.
- **Laser OFF Command:** Příkaz, kterým se vypne laser. Například M05.
- **Travel Speed:** Rychlost přesunu v případě, že je laser vypnutý v mm/min.
- **Laser Speed:** Rychlost přesunu v případě, že je laser zapnutý v mm/min.
- **Laser Power:** Nominální intenzita pro 100 % řezu. Intenzita může být snížena neprůhledností.
- **Power On Delay:** Doba čekání od spuštění laseru před započítáním řezu. Tato doba se používá, pokud je potřeba přehřát řezaný materiál
- **Passes:** Počet průchodů každého řezu. Pokud gravírujete, ponechte hodnotu 1.
- **Pass Depth:** Tento parametr posune osu Z dolů po každém průchodu. Například, pokud řezeme materiál tlustý 3 mm na 3 průchody, pak je posun o 1 mm na každý průchod.
- **Directory:** Složka, do které se uloží soubor.
- **Filename:** Jméno pro každý soubor.
- **Add numeric suffix to filename:** Přidá číslo ke jménu každého souboru v případě, že ve složce již existuje soubor stejného jména.
- **Suppress all messages:** Skryje vytvářené varovných a chybových zpráv.
- **All Units:** Změní výstupní jednotky na metrické mm nebo imperiální in.
- **Live preview:** Ukazuje cesty během vytváření.
- **Apply:** Stiskni pro spuštění konverze. [10]

Inkscape disponuje mnoha možnostmi tvorby a úpravy grafiky, návody na tyto funkce lze běžně najít, proto zde nebudou popisovány, ale je nutné porozumět několika funkcím a nástrojům, které jsou přímo využívány při tvorbě G-kódu.

## 8.1 Křivka

Křivky jsou základní jednotkou programu lze je vytvářet jednotlivě nebo celé obrazce z křivek. Křivka lze přímo převést na G-kód.



Obrázek 23 Ukázka elementárních křivek pro G-kód

Po vygenerování kódu jsou vytvořeny šipky na ukázkou toho, jak bude nástroj postupovat při výrobě. Šipky lze jednoduše odstranit pomocí nástroje **Vrátit zpět poslední úkon** nebo klávesovou zkratkou **CTRL + Z**.

G-kód lze vygenerovat ze všeho (všechny křivky) pokud není nic označené nebo pouze konkrétní křivku či skupinu křivek, pokud je tento výběr před použitím rozšíření JFU Laser Tool označen.

## 8.2 Text

Text, který je napsán v Inkscape je typu text, nelze jej použít pro generaci G-kódu přímo, proto je nutné text převést na křivky.

Postup převodu na křivky:

- 1) Označení textu určeného na převod
- 2) Horní lišta\Křivka\Objekt na křivku

Z takto převedeného textu lze již vytvořit G-kód ale je nutné si dát pozor na fakt že Inkscape vytvořil křivky z hran textu nikoliv z čar, takto vytvořené křivky jsou sice vyplněné barvou, ale tato barva je pro generaci kódu neviditelná viz následující obrázek.



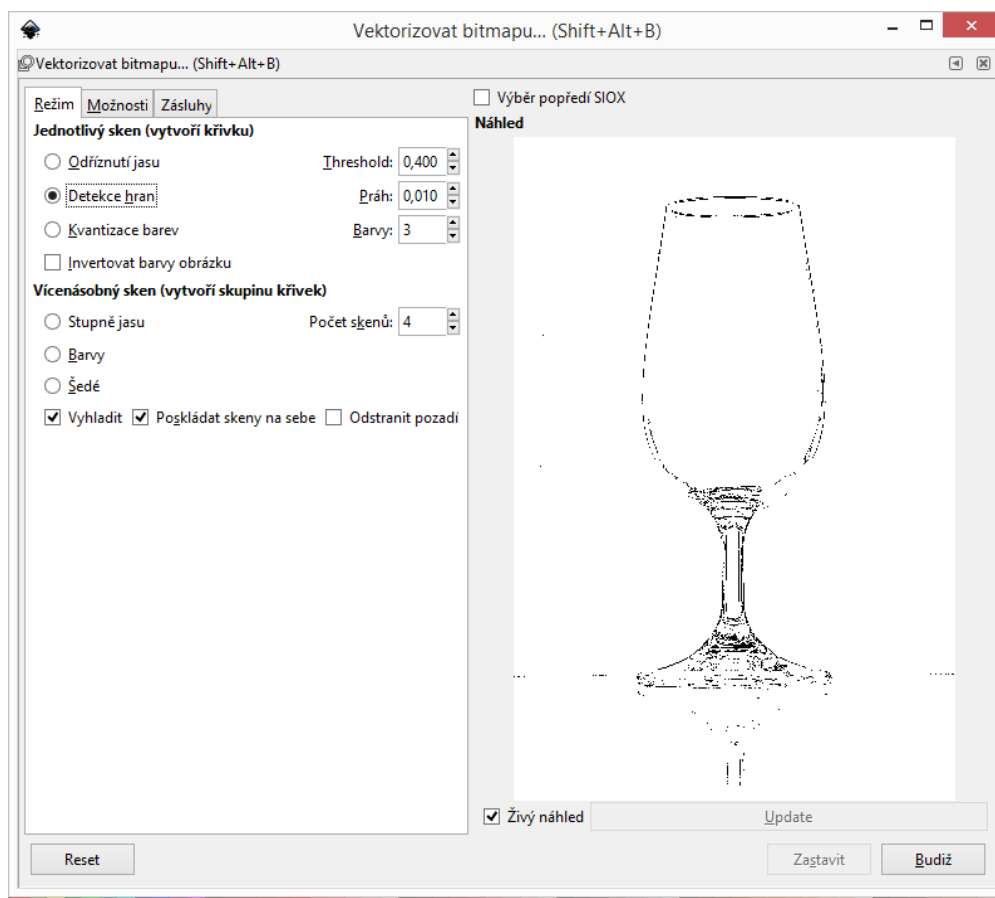
Obrázek 24 Nalevo text – napravo křivky s šipkami znázorňujícími pohyb stroje

## 8.3 Obrázek

Inkscape dokáže převést mnoho grafických formátů na křivky využitelné pro generaci G-kódu pomocí nástroje **Vektorizovat Bitmapy**. Horní lišta\Křivka\Vektorizovat Bitmapy. Nástroj vektorizovat bitmapy má 2 způsoby převedení na křivky, které jsou použitelné pro generaci G-kódu.

- 1) Odříznutí jasu: tento nástroj funguje velice jednoduše, pouze se nastaví úroveň jasu hodnotou **Threshold**, který se odřízne, zbytek zůstane.
- 2) Detekce hran: tento nástroj vytváří křivky na místě kde je výrazný barevný přechod, hodnota **Práh** určuje velikost rozdílu, který vytvoří křivku

U obou nástrojů je možné invertovat barvy.






Obrázek 25 Nástroj Vektorizovat bitmapu



Obrázek 26 Ukázka převodu fotky(vlevo) na křivky(vpravo) pomocí Inkscape [11]

## 8.4 Vrstvy

Vrstvy mohou být použity pro změnu intenzity laseru nebo pro usnadnění práce s grafikou lze je přidat pomocí:

Horní lišta\Vrstvy\Přidat vrstvu... V záložce Vrstvy (klávesová zkratka CTRL + SHIFT + L), lze vrstvy vytvářet nebo mazat( , skrývat( , posouvat mezi sebou( , ).

## 8.5 Regulace jasu laseru

Pomocí rozšíření JFU Laser Tool lze vytvářet G-kód s různou hodnotou jasu pro různé křivky či skupiny křivek. Využívá se vlastnosti **Neprůhlednost**. 100% neprůhlednosti znamená maximální jas. Neprůhlednost lze najít na dolní liště a tato hodnota je označena O (Opacity), nebo lze zapnout lištu Výplň a obrys pomocí **CTRL + SHIFT + F** kde lze tuto vlastnost měnit. Celková intenzita je vypočítána jako součin neprůhlednosti křivky a hodnoty **Laser Power** v rozšíření JFU Laser Tool. Intenzita vrstvy se nebere v potaz! Intenzita laseru může být také použita pro gravírování a následné řezání v jednom procesu, je vhodné při využití této možnosti nejprve gravírovat a až poté řezat, aby nevznikly nepřesnosti.

Je dobré vědět, že tento plugin zpracovává křivky v pořadí "zepředu" "dozadu". Objekty, které jsou v obrázku nahoře se budou řezat jako první, objekty, které jsou v obrázku vespod se budou řezat jako poslední.[10]

## 9. ZÁVĚR

Bylo zjištěno nepřehledné množství různého softwarového řešení a jejich modifikací jenž umožňují takřka libovolné přizpůsobení mnoha zásadních i vedlejších funkcí plotru. Pro ovládání plotru byly vybrány 3 různé programy a) Marlin Firmware V2 (řídící jednotka) b) Repetier (ovládání rozhraní) c) Inkscape (práce s textem, křivkami a obrázky). Vybrané softwarové řešení by mělo být schopné fungovat nejen v režimu laserového gravírování ale i pro 3D tisk, mechanické gravírování a vrtání za předpokladu výměny nástroje a přenastavení některých hodnot v softwarovém řízení. Nepodařilo se najít způsob jednoduché souvislé regulace jasu laseru při vytváření obrazců ale pouze nespojitá regulace pomocí diskretních hodnot výkonu. Laserové gravírování obrázků je možné ale pouze v omezené míře, obrázek je potřeba převést na vektorovou grafiku, při tomto převodu obrázků ztratí své spektrum barev (v některých případech může být zachováno více rozdílných stupňů šedi) a mohou zaniknout detaily nebo části s plynulým přechodem barvy.

Vytvořený 3D model plotru může v budoucnu posloužit pro různé simulace pohybu stroje, správného chlazení řídící a napájecí elektroniky, též pro prezentaci samotného zařízení.

Při práci s laserem je vždy nutno používat ochranné brýle.

## LITERATURA

- [1] Rozvoj a současná úloha aditivní výroby. *Mmspektrum* [online]. 2016 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rozvoj-a-soucasna-uloha-aditivni-vyroby.html>
- [2] HORÁK, Jiří. *AlphaCAM – frézování: Základní moduly pro frézování v AlphaCAMu*. [online]. Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, Sokolská 1, 13.6.2013, (VY\_32\_INOVACE\_48-01), 6 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/CNC/VY\\_32\\_INOVACE\\_48-01.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/CNC/VY_32_INOVACE_48-01.pdf)
- [3] JAKUB, Oškera. *FEMTOSEKUNDOVÉ LASERY A JEJICH APLIKACE* [online]. 2015/16 [cit. 2019-12-17]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=129472](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=129472). BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. Petr Münster, Ph.D.
- [4] Řešení pro CAM a simulace. *Solidvision* [online]. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/cam/>
- [5] *Obecný úvod do problematiky CNC programování* [online]. 75 s. [cit. 2019-12-19]. CZ.1.07/1.1.01/02.0084. Dostupné z: <https://docplayer.cz/162827-Obecny-uvod-do-problematiky-cnc-programovani.html>
- [6] *Programování* [online]. Střední odborná škola Slavičín [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: [http://projekty.sosslavicin.cz/file\\_local.php?id=28](http://projekty.sosslavicin.cz/file_local.php?id=28)
- [7] JRT. Pulzně-šířková modulace. *Robodoupe* [online]. 2016 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/pulzne-sirkova-modulace/>
- [8] Blue Laser Control With Marlin - Microcontroller. In: *Pngtube* [online]. [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: [https://www.pngtube.com/viewm/ixmbbhb\\_blue-laser-control-with-marlin-microcontroller/](https://www.pngtube.com/viewm/ixmbbhb_blue-laser-control-with-marlin-microcontroller/)
- [9] Focusable 450nm 2.5W+ Blue Laser Module/Carving/TTL/Analogue Gift Goggles. *Ebay* [online]. [cit. 2021-6-2]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/141006232042?hash=item20d4a059ea:g:sHMAAOSwqclgfZXL&autorefresh=true>
- [10] Plugin mogul do Inkscape pro export gcode optimalizovaného pro laserové gravírky a řezačky. *Neosobní stránka Jindry Fučíka* [online]. [cit. 2021-5-25]. Dostupné z: [http://www.fucik.name/hw/laser/jfu\\_laser.php](http://www.fucik.name/hw/laser/jfu_laser.php)
- [11] TRUSKOVÁ, Miroslava. *Sklenička*. Tábor.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

PWM	Pulse Width Modulation, pulzně šířková modulace
MPCN	Mostly Printed CNC, tištěné CNC
CNC	Computer Numeric Control, číslicové řízení počítačem
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
SLDPRT	SoLiDworks PaRT, formát modelu vytvořen programem SolidWoks
STL	STereoLithography, formát modelu určen pro 3D tisk
AM	Additive Manufacturing, aditivní technologie